Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 3, Fall 2022, p. 399-408

Measurement and Analysis of Fruit Vibration on the Truck Bed during Transportation on Highways

A. Ramezani Boukat[1*], H. Navid[2], M. J. Musevi Niya[3], S. Ranjbar[4]

1- PhD Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3- Associate Professor, Department of Communications Engineering, Faculty of Electrical & Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4- PhD Student, Department of Communications Engineering, Faculty of Electrical & Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
(*- Corresponding Author Email: ramezani.boukat@gmail.com)
DOI: 10.22067/jam.2021.68715.1016

Received: 07-02-2021 Revised: 25-05-2021 Accepted: 26-05-2021 Available Online: 26-05-2021	**How to cite this article:** Ramezani Boukat, A., H. Navid, M. J. Musevi Niya, and S. Ranjbar. 2022. Measurement and Analysis of Fruit Vibration on the Truck Bed during Transportation on Highways. Journal of Agricultural Machinery 12 (3): 399-408. (In Persian). DOI: 10.22067/jam.2021.68715.1016

Introduction

Transportation of fresh fruit and vegetables is complicated because it can be affected by various factors. Truck vibration is one of the most prevalent causes of mechanical damage to fresh fruit during transportation. Poor driving performance, road features, package features, truck features, package location, and fruit features are the main factors that affect truck vibration. After the harvest, the crop's quality can be maintained and cannot be improved. Thus, the globalization of fresh produce trade needs better long-distance transportation systems to deliver high-quality products to the consumer. Fruit packaging is an essential factor in reducing the mechanical damages caused by transportation. A wide-ranging of distribution environments could affect designing packages. Accurate information about the traffic and transportation status of any region helps packaging designers to produce a more precise simulation of the existing conditions. Thus, this research was conducted to analyze the vibration levels for truck transport on highway roads using multi-sensor-based computing on packaged fruit in Iran.

Materials and Methods

Towards this goal, a wireless sensor network (WSN) made of three sensor nodes with tri-axial accelerometers was designed to measure the vibration levels of a truck equipped with leaf-spring suspension on highway roads. This WSN solution enabled the sensors to be easily mounted at different locations and provided real-time data monitoring. A GPS receiver and a laptop were used to determine the location of the truck, and data analysis, receptively. To analyze the vibration data a, power spectral density function (PSD) levels were applied. A PSD function shows the strength of the variations (energy) as a function of frequency. Broadly, it shows at which frequencies variations are strong and weak. The vibration levels measurement was carried out on three trucks with leaf-spring suspension. The three selected routes represent different roads type in Iran. The reason for sampling the data acquired in the long route was to obtain information from different geographical locations on the country's roads.

Results and Discussion

The acquired data can be used in laboratory vibration tests if it is independent of the fruit type. Because the acceleration of the truck bed, unlike the one in top rows, does not depend on the fruit type and the acceleration at the end of the truck is higher than at the front, the current study focused on the vibration at the end of the truck bed. Compared to the ASTM 4728 standard, the PSD levels of the truck on highway roads were higher from 1 to 35 Hz and lower from 35 to 200 Hz. The average RMSG values calculated for lateral, longitudinal and vertical directions of heavy trucks were 0.406, 0.236, and 0.654 G, respectively. For trucks with spring suspension, the highest PSD values occurred at frequencies below 6 Hz, and the frequency range of 3-4 Hz was determined as the dominant frequency. Comparing the average RMSG (0.654 G) found with the ones mentioned in previous studies showed that the vertical vibration levels of the truck in Iran are higher than in most countries. Apart from

driving quality, these results can be explained by the type of suspension system, amount of load, and road quality.

Conclusion

In sum, the results can be used to simulate the truck transport conditions by programmable vibration simulators to reproduce the vibration conditions for package testing on Iran roads. The findings are highly interested in improving packaging design, reducing fruit damage, maintaining shelf life, smart transportation, and related industries. Thus, potential future works are lab simulations, optimizations of packages, and the development of a real-time vibration monitoring system.

Keywords: Highway, Power spectral density, Road transportation, Truck, Vibration measurement

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص ۴۰۸-۳۹۹

اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاش وارده به میوه در کف اتاق کامیون حین حمل‌ونقل در بزرگراه‌ها

علی رمضانی بوکت[۱*]، حسین نوید[۲]، میرجواد موسوی‌نیا[۳]، سجاد رنجبر[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵

چکیده

حمل‌ونقل میوه و سبزی تازه به‌دلیل اثرگذاری پارامترهای مختلف موضوع پیچیده‌ای است. بسته‌بندی میوه یکی از پارامترهای ضروری در کاهش صدمات مکانیکی ناشی از حمل‌ونقل است. اطلاعات دقیق در مورد وضعیت جاده‌ای و شرایط حمل‌ونقل هر منطقه به طراحان جعبه کمک می‌کند تا شبیه‌سازی دقیقی از شرایط موجود داشته باشند. هدف از این تحقیق اندازه‌گیری شتاب ارتعاش کف کامیون برای حمل‌ونقل جاده‌ای در بزرگراه‌های کشور بود. یک شبکه حسگر بی‌سیم متشکل از سه گره حسگر با شتاب‌سنج سه محوره برای اندازه‌گیری شتاب لحظه‌ای در جلو و عقب کامیون‌های دارای سامانه تعلیق فنری به‌کار گرفته شد. مقادیر شتاب اندازه‌گیری شده توسط پایگاه داده جمع‌آوری و در لپ‌تاپ ذخیره گردید. در مقایسه با استاندارد ASTM 4728، سطوح چگالی طیف توان کامیون در بزرگراه برای بازه فرکانسی ۳۵-۱ هرتز بیشتر از استاندارد و برای بازه فرکانسی ۲۰۰-۳۵ هرتز کمتر از استاندارد بود. متوسط ریشه میانگین مربعات شتاب در راستاهای عرضی، طولی و عمودی کامیون‌های سنگین به‌ترتیب ۰/۴۰۶، ۰/۲۳۶ و ۰/۶۵۴ G به‌دست آمد. برای کامیون با سیستم تعلیق فنری، بالاترین مقادیر PSD در فرکانس‌های کمتر از ۶ هرتز اتفاق افتاد و بازه فرکانسی ۴-۳ هرتز به‌عنوان فرکانس غالب تعیین گردید. یافته‌های تحقیق می‌تواند در شبیه‌سازی شرایط حمل‌ونقل و برای برنامه‌ریزی میزهای ارتعاشی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری ارتعاش، بزرگراه، حمل‌ونقل جاده‌ای، چگالی طیف توان، کامیون

مقدمه

حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین صنایع حال حاضر دنیا محسوب می‌شود که با چالش‌های محسوس و نامحسوس گوناگونی روبه‌رو است. بررسی مسائل مربوط به این بخش می‌توانند با به‌کارگیری تکنولوژی‌های به‌روز فناوری اطلاعات مانند سامانه موقعیت‌یاب جهانی و شبکه حسگرهای بی‌سیم برای فراهم آوردن پایش دقیق اطلاعات، تسهیل گردد (Ruiz Garcia *et al*., 2007). در همه حالت‌های حمل‌ونقل، محصول در معرض کاهش کیفیت قرار دارد لذا تجارت جهانی محصولات تازه، نیازمند روش‌های جابه‌جایی و سامانه‌های حمل‌ونقل مناسب برای فواصل طولانی است (Vigneault *et al*., 2009).

ارتعاشات حین حمل‌ونقل جاده‌ای از علل اصلی صدمه مکانیکی به محصولات کشاورزی در مرحله پس از برداشت محسوب می‌شود (Gebresenbet *et al*., 2011). پس از برداشت، کیفیت محصولات کشاورزی بهبود نمی‌یابد ولی با اندیشیدن تدابیر لازم می‌توان آن را حفظ نمود (Bachmann and Earles, 2000). در مطالعات بسیاری میزان صدمه مکانیکی ناشی از ارتعاش حمل‌ونقل در میوه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (Ishikawa *et al*., 2009; Yenge and Nidoni, 2014; Mansouri Alam and Ahmadi, 2018; Springael *et al*., 2018) که عملکرد ضعیف راننده، خصوصیات جاده، خصوصیات جعبه، خصوصیات کامیون، محل قرارگیری جعبه و خصوصیات میوه از عوامل اصلی ایجاد ارتعاش و در نتیجه بروز صدمه بیان شده‌اند (Zhou *et al*., 2007; Ranathunga *et al*., 2010; Zhang *et al*., 2011).

یکی از روش‌های بررسی اثر ارتعاش روی محصولات کشاورزی و ارزیابی بسته‌بندی‌های مختلف، آزمون‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شرایط حمل‌ونقل با استفاده از میزهای ارتعاشی است. این

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی برق- مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق- مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده ایمیل: (Email: ramezani.boukat@gmail.com
DOI: 10.22067/jam.2021.68715.1016

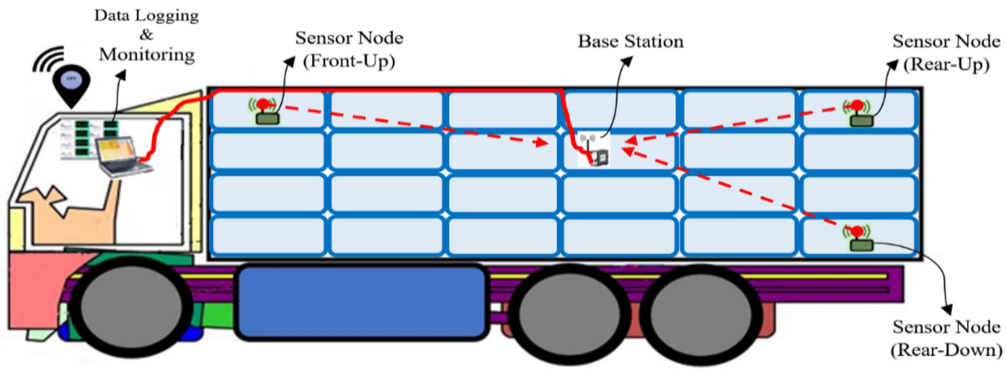
آزمون‌ها علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف بسته‌بندی یا به‌کارگیری ضربه‌گیر در حمل‌ونقل میوه را ممکن می‌سازند (Wasala *et al.*, 2015). در همین راستا برخی از استانداردها مانند ASTM، ISTA و JIS سطوح چگالی طیف توان را برای شبیه‌سازی ارتعاشات حمل‌ونقل ارائه داده‌اند (Lu *et al.*, 2010). چگالی طیف توان (PSD) که نوعی پردازش ثانویه روی سیگنال‌های تبدیل سریع فوریه (FFT) است، بیانگر توزیع توان با توجه به فرکانس بوده و به‌صورت انرژی سیگنال نیز می‌توان آن را بیان نمود. در واقع آن نشان می‌دهد کدام فرکانس‌ها قوی و کدام ضعیف هستند. بر اساس داده‌های اخیر به‌دست آمده در کره جنوبی، توابع PSD هنوز هم به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند چون که شرایط آزمون شتاب را به‌راحتی می‌توان از PSD حاصل از یک بخش حمل‌ونقل ایجاد نمود (Park *et al.*, 2020). سطح ارتعاشات اندازه‌گیری شده می‌تواند برای برنامه‌ریزی و پیکربندی تجهیزات ارتعاش آزمایشگاهی در بازتولید شرایط ارتعاش (Rissi *et al.*, 2008) و توسعه روش‌های آزمون برای ارزیابی جعبه‌ها استفاده گردد (Chonhenchob *et al.*, 2009). ارزیابی سطوح ارتعاش کامیون در برخی از کشورها مانند هند (Singh *et al.*, 2007)، ژاپن (Lu *et al.*, 2008)، برزیل (Rissi *et al.*, 2008)، اسپانیا (Garcia Romeu Martinez *et al.*, 2008)، تایلند (Chonhenchob *et al.*, 2010)، چین (Zhou and Wang, 2018) و کره جنوبی (Park *et al.*, 2020) برای ایجاد یک پایگاه داده به‌منظور تعریف "محیط‌های توزیع در سراسر جهان" مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

به دلیل مسافت طولانی بین باغ‌ها و مصرف‌کنندگان در ایران، کامیون‌ها در حمل‌ونقل محصولات کشاورزی نقش به‌سزایی دارند. کل طول جاده‌های کشور در سال ۲۰۱۸ حدود ۸۸۰۰۰ کیلومتر بوده است. به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر راه بین‌شهری، ۲۲ کیلومتر آزادراه و بزرگراه وجود دارد. علی‌رغم اهمیت این بخش و گستردگی راه‌های کشور، هیچ مطالعه قابل‌توجهی برای بررسی تجزیه و تحلیل ارتعاش هنگام حمل میوه بسته‌بندی شده با استفاده از حسگرهای نصب شده در کامیون انجام نشده است. هدف این مطالعه برآورد سطح ارتعاش کف اتاق کامیون‌های حمل میوه در بزرگراه‌های کشور و به‌دست آوردن فرکانس غالب ارتعاش، به‌منظور تامین اطلاعات دقیق در مورد وضعیت جاده‌های کشور برای طراحان جعبه و بسته‌بندی است. نتایج حاصل مستقل از نوع میوه بوده و می‌تواند با تعریف شرایط حمل‌ونقل در میزهای ارتعاش، برای بررسی صدمات حمل و نقل کلیه میوه‌ها و طراحی جعبه‌های مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق شامل اندازه‌گیری شتاب در موقعیت کف کامیون در شرایط واقعی با سرعت حمل‌ونقل معمول در ایران، برای به‌دست آوردن فرکانس غالب بزرگراه‌های کشور می‌باشد که نتایج تحقیق می‌تواند در آزمون‌های ارتعاش آزمایشگاهی و ارزیابی بسته‌بندی‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. مطابق مطالعات قبلی برای همه مسیرهای هدف، سطح ارتعاش در محور عمودی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از محورهای جانبی و طولی بود (Park *et al.*, 2020). این موضوع علاوه بر کامیون برای سایر وسایل حمل کالا مانند موتورسیکلت برقی، خودرو سواری و اتومبیل ون مورد بررسی قرار گرفت که در همه موارد شتاب بیشتری در راستای عمودی مشاهده شد (Zhou and Wang, 2018). از آنجا که شتاب کف کامیون برخلاف ردیف‌های بالایی، به نوع میوه بستگی ندارد و شتاب در انتهای کامیون بیشتر از جلوی آن است (Hinsch *et al.*, 1992) لذا در این تحقیق مقادیر شتاب عمودی در انتهای کف کامیون با سرعت واقعی حمل‌ونقل در ایران (۹۰-۷۰ کیلومتر در ساعت) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری شتاب ارتعاشی کامیون در موقعیت‌های از پیش تعیین شده، یک شبکه حسگر بی‌سیم به‌کار گرفته شد که طرح‌واره آن به همراه اجزای تشکیل‌دهنده در شکل ۱ نشان داده شده است. قبل از بارگیری، گره حسگرها با استفاده از چسب دوطرفه در کف جعبه‌ها نصب و در هنگام بارگیری جعبه‌های حاوی گره حسگر در موقعیت‌های از پیش تعیین شده (عقب- پایین، عقب- بالا و جلو- بالا) قرار داده شد و سپس جعبه به‌آرامی با محصولی که حمل می‌شد، پر گردید. گره سینک نیز در موقعیت وسط گره‌های حسگر درون جعبه قرار داده شد و کابل انتقال داده به آن وصل گردید.

حسگر مورد استفاده ADXL345، یک شتاب‌سنج سه محوره کوچک با توان مصرفی بسیار پایین و قابلیت اندازه‌گیری با تفکیک‌پذیری بالا (۱۳ بیت) تا شتاب ±۱۶G بود که با توجه به قابل انتخاب بودن محدوده اندازه‌گیری، بازه اندازه‌گیری 4G ± تعیین گردید. سنسور در داخل یک محفظه مشبک قرار داده شد تا وزنی روی آن وارد نشود و امکان ارتعاش آزاد برای سنسور وجود داشته باشد. اندازه‌گیری سطح ارتعاش بر روی سه کامیون با سیستم تعلیق فنری انجام شد. با توجه به مطالعات پیشین، طول نمونه مقادیر شتاب ثبت شده در کل محاسبات ۱۰۲۴ انتخاب گردید و نرخ داده‌برداری برای هر حسگر ۴۰۰ داده در ثانیه بود. مسیرهای مورد مطالعه در تحقیق به نحوی انتخاب شد که مناطق مختلفی از سطح کشور را پوشش داده و نتایج حاصل قابل‌تعمیم به کل جاده‌های کشور باشد.



شکل ۱– اندازه‌گیری سطوح ارتعاش کامیون در حمل‌ونقل با استفاده از شبکه حسگرهای بی‌سیم
Fig.1. Measurement of truck vibration levels in transportation using wireless sensor network

شکل ۲ مسیرهای طی شده در اندازه‌گیری سطوح ارتعاش جاده‌ای را نشان می‌دهد. مسیر ۱ مربوط به حمل محصول از میدان تره‌بار تبریز تا شهر کرج، مسیر ۲ مربوط به حمل محصول از روستای کرمجوان شهرستان مراغه تا میدان تره‌بار تهران و مسیر ۳ مربوط به حمل محصول از انبار سورتینگ در شیراز تا میدان تره‌بار بیرجند است. جدول ۱ جزئیات کامیون‌ها، بسته‌بندی و مسیرهای مورد استفاده در مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۲– مسیرهای مورد بررسی در اندازه‌گیری ارتعاشات کامیون
Fig.2. Routes investigated in measuring truck vibrations

داده‌های شتاب به‌دست آمده از حسگرها به‌صورت فایل متنی و شامل اطلاعات شماره گره و مقادیر شتاب در سه راستای X، Y و Z است. در هر داده‌برداری سرعت کامیون، علاوه بر سرعت‌سنج با استفاده از یک گیرنده GPS تعیین شد و برای پردازش و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای اکسل[1] و متلب[2] استفاده گردید. ارتعاشات تصادفی در حوزه فرکانس را می‌توان با چگالی طیف توان ارائه نمود که نمودار آن در باندهای باریک فرکانسی با استفاده از رابطه (۱) حاصل می‌گردد (Rissi *et al.*, 2008).

$$PSD = \frac{1}{BW}\sum_{i=1}^{n}\left(RMS_{G_i}^{\ 2}\right)/N \qquad (1)$$

که در آن: PSD چگالی طیف توان ($G^2\ Hz^{-1}$)؛ N تعداد نمونه‌ها؛ BW پهنای باند (Hz)؛ RMS_G ریشه میانگین مربعات شتاب (G).

مقادیر RMS_G نیز با استفاده از رابطه (۲) قابل محاسبه است (Zhou and Wang, 2018).

1- Excel 2013
2- MATLAB R2015b

جدول ۱- ویژگی‌های کامیون و جزئیات بسته‌بندی و مسیرهای اندازه‌گیری سطح ارتعاش

Table 1- Truck features and details of the packaging, and routes for vibration levels measurement

شماره کامیون **Truck ID**	**1**	**2**	**3**
برند **Brand**	**بنز اکسور** **Benz Axor**	**فوتون** **Foton**	**بنز اکسور** **Benz Axor**
سال ساخت Year of built	2009	2014	2007
سیستم تعلیق Suspension type	فنری Leaf-spring	فنری Leaf-spring	فنری Leaf-spring
تایر Tire	315/80 R22.5	235/7.5 R17.5	315/80 R22.5
ظرفیت بار Load capacity (kg)	10000	4000	10000
وزن بار Load weight (kg)	9500	4000	8300
میوه Fruit	سیب Apple	سیب Apple	گوجه فرنگی Toamto
نوع جعبه Package type	RPC *	RPC	RPC
مسیر Route	تبریز- کرج Tabriz-Karaj	مراغه- تهران Maragheh-Tehran	شیراز- بیرجند Shiraz-Birjand
فاصله Distance (km)	550	600	1000

* جعبه پلاستیکی با قابلیت استفاده مجدد ($490*300*190\ mm^3$)

*Reusable Plastic Crates ($490*300*190\ mm^3$)

$$RMS_G = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} G_i^2} \qquad (۲)$$

که در آن: G_i شتاب؛ M تعداد داده‌های شتاب.

جهش‌های موجود در داده‌ها با استفاده از دستور unwrap در نرم‌افزار متلب که بر اساس زاویه فاز[1] نمودار را اصلاح می‌کند، تصحیح گردید. نمودار PSD تغییرات انرژی ارتعاش را به‌عنوان تابعی از فرکانس نشان می‌دهد. با توجه به رابطه عکس فرکانس و چگالی طیف توان و در نظر داشتن این‌که نویزها اغلب دارای فرکانس‌های بالا هستند این امر به کاهش و حذف فرکانس‌های نویز کمک کرده و فرکانس‌های اصلی دقیق‌تر مشخص می‌شود.

نتایج و بحث

مقادیر شتاب عمودی ناشی از ارتعاشات جاده‌ای در کف کامیون حمل میوه و در موقعیت‌های مختلف از جاده‌های کشور اندازه‌گیری و نتایج حاصل به‌صورت نمودارهای PSD مورد ارزیابی قرار گرفت. برای نمونه، نمودار PSD ارتعاش کامیون در راستای عمودی برای یک داده‌برداری از بزرگراه مسیر ۲، در موقعیت حسگر عقب- پایین و سرعت ۹۰ $km\ h^{-1}$ در شکل ۳ نشان داده شده است.

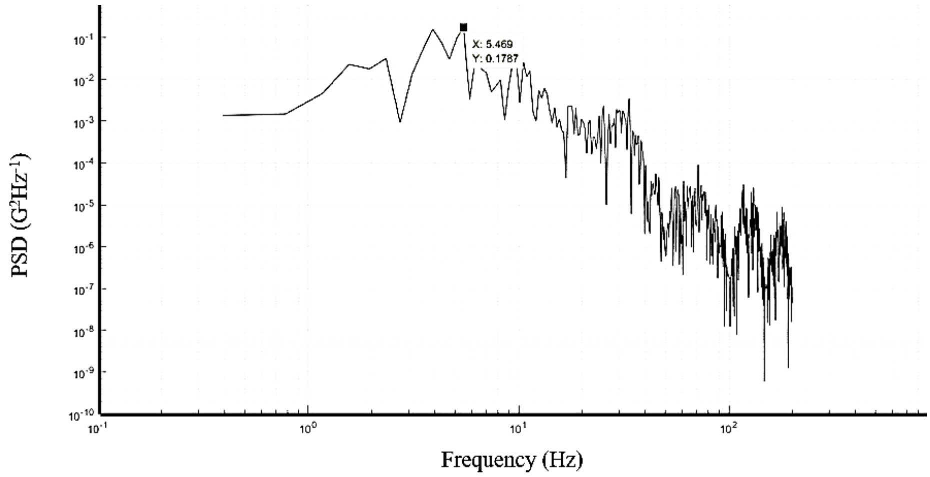
از آنجا که در شبیه‌سازی ارتعاش جاده با میزهای ارتعاشی از نمودارهای استاندارد چگالی طیف توان استفاده می‌شود نتایج حاصل برای پنج نمونه داده‌برداری از بزرگراه با استاندارد ASTM D 4728 مقایسه گردید که نتایج در شکل ۴ قابل مشاهده است. برای مقایسه راحت‌تر نمودار PSD با استفاده از نرم‌افزار متلب ساده‌سازی[2] شد.

چنانچه از نمودار مشخص است مقادیر PSD، در بازه فرکانسی ۱-۳۵ هرتز بیشتر از نمودار استاندارد ASTM D 4728 و برای فرکانس‌های بالای ۳۵ هرتز کمتر از استاندارد می‌باشد. نتایج حاصل در فرکانس‌های ۱-۳۵ هرتز با نتایج تحقیق سلیمانی و احمدی که مقادیر PSD را در بازه فرکانسی ۱-۱۰۰ هرتز بیشتر از مقادیر استاندارد ASTM به‌دست آوردند، مطابقت دارد (Soleimani and Ahmadi, 2014). این موضوع ضمن تایید ضرورت در نظر گرفتن داده‌های محلی حاصل از حمل‌ونقل واقعی در شبیه‌سازی ارتعاشات جاده‌ای، نشانگر مقادیر بالاتر PSD در فرکانس‌های پایین برای

1- Phase Angles

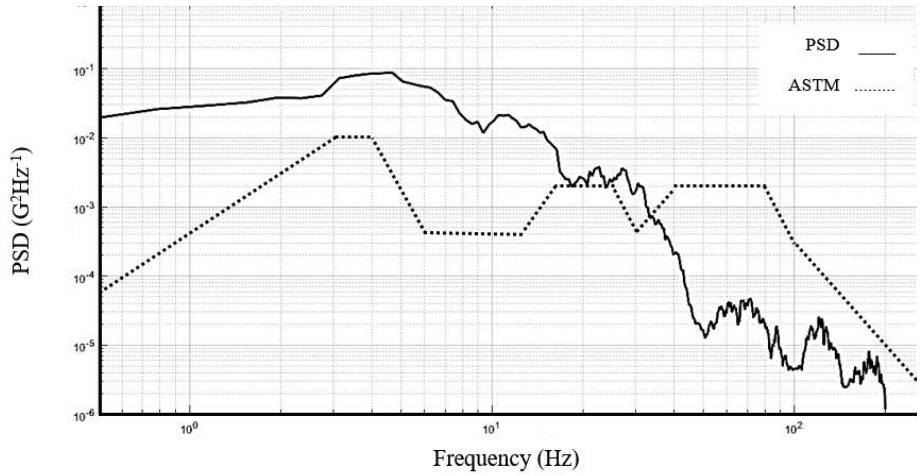
2- Smooth

جاده‌های کشور است. به‌طور کلی محدوده‌های فرکانسی ۶–۳، ۱۱–۸ و ۳۰–۲۰ هرتز به‌عنوان اولین، دومین و سومین محدوده ماکسیمم نمودار قابل تشخیص هستند. طی تحقیقی شتاب و فرکانس ارتعاش در نقاط مختلف کف کامیون حین حمل هندوانه اندازه‌گیری شد که فرکانس‌های ۷/۵ و ۱۲/۵ هرتز به‌ترتیب با ۳۳/۲ و ۳۰/۱۷ درصد فراوانی، پرتکرارترین سطوح فرکانسی در جاده‌های ایران در حین حمل‌ونقل با کامیون‌های خاور شش چرخ تعیین گردید (Shahbazi *et al.*, 2010) که نتایج نزدیک به محدوده‌های فرکانسی اول و دوم تحقیق حاضر است.



شکل ۳– نمودار PSD ارتعاش کامیون در راستای عمودی برای یک داده‌برداری از بزرگراه، در سرعت ۹۰ $km\ h^{-1}$ و موقعیت حسگر عقب–پایین کامیون ۲

Fig.3. The PSD spectrums for the vibration level of truck in a vertical direction on the highway road at 90 $km\ h^{-1}$ speed on the rear-down location of truck 2



شکل ٤– نمودار ساده‌سازی شده PSD برای ارتعاش عمودی کامیون در بزرگراه و در مقایسه با استاندارد ASTM D 4728

Fig.4. Smoothed PSD spectrums for the vibration level of truck in a vertical direction on highway in comparison to ASTM D 4728 standard

مطالعات پیشین نشان داد که برای مسیرهای طی شده در کره جنوبی، مقادیر RMS شتاب در شرایط حمل‌ونقل واقعی با استاندارد ASTM مورد استفاده مطابقت داشته و تفاوت آشکاری بین مقادیر ماکسیمم PSD اندازه‌گیری شده و مقادیر استاندارد وجود ندارد (Park *et al.*, 2020). مقایسه نتایج اندازه‌گیری ارتعاشات جاده‌ای در کشور چین با دو استاندارد مورد استفاده، نشان داد در بازه فرکانسی ۴ تا ۴۵ هرتز مقادیر چگالی طیف توان در استاندارد GB/T4857.23-2012[1] در مقایسه با استاندارد ASTM D4169-16، خیلی بیشتر است و نتایج اندازه‌گیری ارتعاش در حین حمل‌ونقل واقعی کمتر از

1- GB/T 4857.23- 2012 truck profiles (packaging, basic tests for transport packages, part 23, random vibration test method)

استاندارد D4169-16 ASTM است. لذا استاندارد ASTM D4169-16 برای آزمون‌های ارتعاش در این کشور توصیه و بازه‌های فرکانسی ۴-۳ و ۴۰-۲۰ به‌عنوان اولین و دومین محدوده ماکسیمم PSD تعیین گردید (Zhou and Wang, 2018).

به‌منظور به‌دست آوردن فرکانس غالب ارتعاش کف کامیون در حمل‌ونقل واقعی که بتوان آن را در آزمون‌های ارتعاش آزمایشگاهی استفاده نمود، مقادیر شتاب در موقعیت عقب- پایین که بیشترین شدت ارتعاش را در کف کامیون دارد، اندازه‌گیری و ثبت شد. جدول ۲ مقادیر PSD ثبت شده در حمل نقل در سه مسیر با چهار مرحله نمونه‌برداری را ارائه کرده است. باید در نظر داشت که در حمل‌ونقل واقعی، سرعت در مسیرهای مختلف یکسان نبوده و به‌تناسب شرایط جاده توسط راننده کنترل می‌گردد. لذا داده‌های جدول ۲ در حمل‌ونقل واقعی (سرعت ۹۰-۷۰ کیلومتر در ساعت) رخ داده است.

جدول ۲- سه مقدار ماکسیمم نمودار PSD ($G^2\ Hz^{-1}$) برای بزرگراه در سه مسیر مختلف

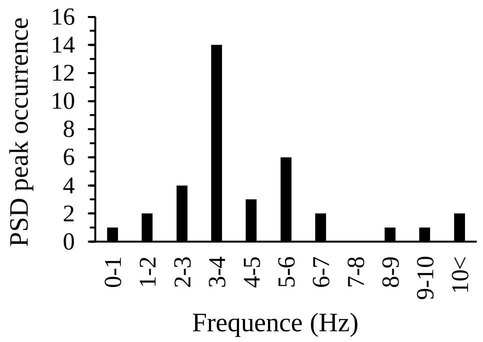
Table 2- Three peak values of PSD ($G^2\ Hz^{-1}$) spectrums on highways in three different routes

مسیر Route	داده‌برداری Sampling	$Freq_1$	PSD_{Max1}*	$Freq_2$	PSD_{Max2}*	$Freq_3$	PSD_{Max3}*
1	1	3.906	0.423	9.766	0.078	8.594	0.066
	2	3.846	0.214	16.026	0.101	18.590	0.086
	3	3.516	0.237	1.953	0.139	2.734	0.116
	4	3.516	0.335	0.391	0.289	5.469	0.233
2	1	3.774	0.142	1.887	0.136	6.604	0.081
	2	3.906	0.231	2.734	0.15	5.859	0.087
	3	3.906	0.152	5.859	0.148	3.125	0.135
	4	5.469	0.179	3.906	0.159	6.25	0.036
3	1	2.732	0.119	5.463	0.042	3.902	0.041
	2	4.688	0.239	3.125	0.203	3.906	0.124
	3	4.683	0.093	3.122	0.075	5.463	0.053
	4	3.512	0.151	4.683	0.091	2.341	0.039

* مقادیر ماکسیمم نمودار PSD

* Peak values of PSD spectrum

شکل ۵ نمودار فراوانی سه ماکسیمم PSD نمونه‌های ارائه شده در جدول ۲ را نشان داده است. بیشترین مقادیر PSD در این نمودار نشان می‌دهد مقادیر ماکسیمم PSD اغلب در بازه فرکانسی کمتر از ۶ هرتز رخ داده است و در بازه فرکانسی بیش از ۲۰ هرتز سطح ارتعاشات به‌طور قابل‌توجهی پایین است. برای بزرگراه‌های کشور محدوده فرکانسی ۳ تا ۴ هرتز به‌عنوان فرکانس غالب ارتعاشات می‌باشد.



شکل ۵- فراوانی تعداد ماکسیمم PSD به‌دست آمده در بازه‌های فرکانسی مربوط

Fig.5. A number of PSD peaks found according to the special frequency ranges

در تحقیقی (Vursavuş and Özgüven, 2004) حداکثر مقدار شتاب عمودی در کف کامیون تحت شرایط جاده‌ای در فرکانس‌های ارتعاش ۱۰-۵ و ۱۵-۱۰ هرتز به‌دست آمد. همچنین بالاترین سطوح PSD برای تریلرها با سیستم تعلیق فنری فرکانس ۳/۵ هرتز تعیین

گردید (Hinsch *et al.*, 1992). در یک آزمون تجربی بر روی کامیون مورد استفاده در حمل میوه، ماکسیمم PSD در فرکانس ۹ هرتز به‌دست آمد و از این مقدار برای ارزیابی صدمات ناشی از ارتعاش در یک ستون میوه استفاده گردید (La Scalia *et al.*, 2015).

برای کل داده‌برداری‌های صورت گرفته، مقادیر RMS شتاب در سه جهت عرضی، طولی و عمودی با استفاده از نرم‌افزار متلب محاسبه گردید. مقادیر RMS شتاب در مسیرهای ۱ و ۳ به هم نزدیک است به‌طوری که در راستای طولی به‌ترتیب ۰/۲۴۱G و ۰/۲۳۱G، در راستای عرضی ۰/۳۹۳G و ۰/۴۱۹G، در راستای عمودی ۰/۶۹۵G و ۰/۶۱۴G می‌باشد. مقادیر RMS شتاب برای مسیر ۲ در راستاهای طولی، عرضی و عمودی به‌ترتیب ۰/۴۸۹، ۰/۶۶۷ و ۰/۸۵۰G به‌دست آمد که نسبت به مسیرهای ۱ و ۳ مقادیر بیشتری دارند. این اختلاف به دلیل به‌کارگیری کامیون سبک و وزن بار کمتر (۴ تن) نسبت به دو کامیون مورد استفاده در مسیرهای ۱ و ۳ (کامیون سنگین با بار ۱۰ تن) می‌باشد.

با توجه به نتایج فوق، در آزمون‌های ارتعاش برای بیشترین مقدار شتاب وارد بر کف کامیون‌های سنگین در جاده‌های کشور (با محاسبه میانگین مقادیر RMS شتاب عمودی در دو مسیر ۱ و ۳)، شتاب ۰/۶۵۴G می‌تواند در نظر گرفته شود. مطالعات آزمایشگاهی بر روی سیب نشان داد که در همه روش‌های بسته‌بندی مورد استفاده، فرکانس ۸/۲ هرتز و شتاب ارتعاش ۰/۶۳G منجر به بیشترین صدمه به محصول گردیده است (Vursavuş and Özgüven, 2004). در تحقیقی کوفتگی ارتعاشی سیب در فرآیند حمل‌ونقل مورد مطالعه قرار گرفت که برای اعمال ارتعاشات کنترل شده، یک دستگاه شبیه‌ساز ارتعاش آزمایشگاهی مورد استفاده بوده است. نتایج نشان داد ترکیب ارتعاشی ۱۳ Hz و ۰/۷G بیشترین آسیب را به سیب‌ها وارد می‌کند (Rostampour and Motlagh, 2018). نزدیک بودن شتاب ارتعاش کف کامیون در جاده‌های کشور به‌شتاب ارتعاشی که منجر به بیشترین صدمه در محصول سیب شده است ضرورت طراحی جعبه و ارتقا بسته‌بندی به‌منظور کاهش ارتعاشات و شتاب وارده بر میوه را نمایان می‌سازد.

طی پژوهشی برای کامیون های دارای سیستم تعلیق فنری در چرخ جلو و سیستم تعلیق بادی در عقب، بیشترین توزیع شتاب عمودی در شتاب‌های ارتعاشی ۰/۲۵– ۰/۷۵G به‌دست آمده است (Vursavuş and Özgüven, 2004). در مطالعات پیشین محققان مقدار RMS شتاب در راستای عمودی حین حمل‌ونقل جاده‌ای را ۰/۱۶۱G برای هند (Singh *et al.*, 2007)، ۰/۵۵G برای برزیل (Rissi *et al.*, 2008)، ۰/۲۰G برای اسپانیا (Garcia Romeu Martinez *et al.*, 2008)، ۰/۲۳۸G برای تایلند (Chonhenchob *et al.*, 2010)، ۰/۳۳G برای چین (Zhou and Wang, 2018) و ۰/۳۱G برای کره جنوبی (Park *et al.*, 2020) به‌دست آورده بودند. مقایسه مقدار RMS به‌دست آمده در این تحقیق (۰/۶۵۴G) با موارد ذکر شده نشان می‌دهد که سطوح ارتعاش در راستای عمودی در جاده‌های ایران نسبت به اغلب کشورها بیشتر می‌باشد که علاوه بر نحوه رانندگی، می‌تواند از نوع سیستم تعلیق، شرایط جاده و میزان بار ناشی گردد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ارتعاشات جاده‌ای در شرایط حمل‌ونقل و در کف کامیون‌های مجهز به سیستم تعلیق فنری در بزرگراه‌های کشور اندازه‌گیری شد که با توجه به قرارگیری حسگر در کف اتاق کامیون، نتایج حاصل مستقل از نوع بار است. با به‌دست آوردن نمودارهای چگالی طیف توان، فرکانس غالب ارتعاشات جاده و مقادیر میانگین مربعات شتاب محاسبه گردید. توجه به زیرساخت‌ها و بهبود کیفیت جاده‌های کشور نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش صدمات حمل‌ونقل دارد و سطح ارتعاش جاده می‌تواند در انتخاب مسیر مناسب مورد توجه قرار گیرد. در مقایسه با استاندارد ASTM 4728، سطوح چگالی طیف توان در بازه فرکانسی ۱–۳۵ هرتز برای بزرگراه‌های کشور، بیشتر از استاندارد و در بازه فرکانسی بالای ۳۵ هرتز، کمتر از استاندارد است. بیشترین مقدار شتاب وارد بر کف کامیون‌های سنگین در جاده‌های کشور ۰/۶۵۴G و محدوده فرکانسی ۳ تا ۴ هرتز به‌عنوان فرکانس غالب ارتعاشات بدست آمد. نتایج تحقیق می‌تواند به‌عنوان معیاری در برنامه‌ریزی آزمون‌های ارتعاش با استفاده از میزهای ارتعاشی و شبیه‌سازی شرایط حمل‌ونقل جاده‌ای کشور مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. Bachmann, J., and R. Earles. 2000. Postharvest handling of fruits and vegetables. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas: 1-19.
2. Chonhenchob, V., S. P. Singh, J. J. Singh, S. Sittipod, D. Swasdee, and S. Pratheepthinthong. 2010. Measurement and analysis of truck and rail vibration levels in Thailand. Packaging Technology and Science 23: 91-100.
3. Chonhenchob, V., S. Sittipod, D. Swasdee, P. Rachtanapun, S. Singh, and J. A. Singh. 2009. Effect of truck vibration during transport on damage to fresh produce shipments in Thailand. Industrial Technology: 6.
4. Garcia Romeu Martinez, M. A., S. P. Singh, and V. A. Cloquell Ballester. 2008. Measurement and analysis of

vibration levels for truck transport in Spain as a function of payload, suspension and speed. Packaging Technology and Science 21: 439-451. https://doi.org/10.1002/pts.798.

5. Gebresenbet, G., S. Aradom, F. S. Bulitta, and E. Hjerpe. 2011. Vibration levels and frequencies on vehicle and animals during transport. Biosystems Engineering 110: 10-19. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.007.
6. Hinsch, R., W. Craig, D. Slaughter, and J. Thompson. 1992. Vibration of fresh fruits and vegetables during refrigerated truck transport. American Society of Agricultural Engineers 36 (4): 1039-1042. DOI: 10.13031/2013.28431.
7. Ishikawa, Y., H. Kitazawa, and T. Shiina. 2009. Vibration and shock analysis of fruit and vegetables transport-Cherry transport from Yamagata to Taipei. Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ 43: 129-135.
8. La Scalia, G., M. Enea, R. Micale, O. Corona, and L. Settanni. 2015. Damage to strawberries caused by simulated transport. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering 9 (5).
9. Lu, F., Y. Ishikawa, H. Kitazawa, and T. Satake. 2010. Effect of vehicle speed on shock and vibration levels in truck transport. Packaging Technology and Science 23: 101-109. DOI: 10.1002/pts.882.
10. Lu, F., Y. Ishikawa, T. Shiina, and T. Satake. 2008. Analysis of shock and vibration in truck transport in Japan. Packaging Technology and Science 21: 479-489.
11. Mansouri Alam, A., and E. Ahmadi. 2018. Determination of Bruising Damages of Tomato during Road Transportation Process. Journal of Agricultural Machinery 8 (1): 185-196. (In Persian). http://dx.doi.org/10.22067/jam.v8i1.59189.
12. Park, J., S. Choi, and H. M. Jung. 2020. Measurement and Analysis of Vibration Levels for Truck Transport Environment in Korea. Applied Sciences 10: 6754. https://doi.org/10.3390/app10196754.
13. Ranathunga, C., H. Jayaweera, S. Suraweera, S. Wattage, K. Ruvinda, and T. Ariyaratne. 2010. Vibration effects in vehicular road transportation. Proceedings of the Technical Sessions 26: 9-16.
14. Rissi, G. O., S. P. Singh, G. Burgess, and J. Singh. 2008. Measurement and analysis of truck transport environment in Brazil. Packaging Technology and Science 21 (4): 231-246. https://doi.org/10.1002/pts.797.
15. Rostampour, V., and A. M., Motlagh. 2018. Evaluation of the bruising susceptibility of apple in transport conditions. Bulgarian Journal of Agricultural Science 24 (5): 902-908.
16. Ruiz Garcia, L., P. Barreiro, J. Rodriguez Bermejo, and J. Robla. 2007. Monitoring the intermodal, refrigerated transport of fruit using sensor networks. Spanish Journal of Agricultural Research 5 (2): 142-156. DOI: 10.5424/sjar/2007052-234.
17. Shahbazi, F., A. Rajabipour, S. Mohtasebi, and S. Rafie. 2010. Simulated in-transit vibration damage to watermelons. Journal of Agricultural Science and Technology 12: 23-34.
18. Singh, S. P., A. Sandhu, J. Singh, and E. Joneson. 2007. Measurement and analysis of truck and rail shipping environment in India. Packaging Technology and Science: An International Journal 20 (6): 381-392. https://doi.org/10.1002/pts.764.
19. Soleimani, B., and E. Ahmadi. 2014. Evaluation and analysis of vibration during fruit transport as a function of road conditions, suspension system and travel speeds. Engineering in Agriculture, Environment and Food 8 (1): 26-32. https://doi.org/10.1016/j.eaef.2014.08.002.
20. Springael, J., A. Paternoster, and J. Braet. 2018. Reducing postharvest losses of apples: Optimal transport routing (while minimizing total costs). Computers and electronics in agriculture 146: 136-144. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.007.
21. Vigneault, C., J. Thompson, S. Wu, K. C. Hui, and D. LeBlanc. 2009. Transportation of fresh horticultural produce. Postharvest Technologies for Horticultural Crops 2: 1-24.
22. Vursavuş, K., and F. Özgüven. 2004. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in golden delicious apples. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 28 (5): 311-320.
23. Wasala, W., D. Dharmasena, T. Dissanayake, and B. Thilakarathne. 2015. Vibration simulation testing of banana bulk transport packaging systems. Tropical Agricultural Research 26 (2): 355. DOI: 10.4038/tar.v26i2.8098.
24. Yenge, G. B., and U. Nidoni. 2014. Transportation losses in fresh fig (*Ficus Carica* L.) fruits. International Journal of Farm Sciences 4 (3): 100-109.
25. Zhang, L. W., C. Yang, Y. Wang, D. Pan, X. Meng, and T. Tong. 2011. Vibration and impact performance tests of cherry tomato transport packages. Transactions China Society Agriculture Machinery 42 (3): 125-130.
26. Zhou, H., and Z. W. Wang. 2018. Measurement and analysis of vibration levels for express logistics transportation in South China. Packaging Technology and Science 31: 665-678. https://doi.org/10.1002/pts.2404.
27. Zhou, R., S. Su, L. Yan, and Y. Li. 2007. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia Nakai*, cv. Huanghua). Postharvest Biology and Technology 46 (1): 20-28. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.04.006.